



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Jaakko Karjala

# Paine-eron mukaan säätyvä ilmanvaihto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

11.3.2020

Tekijä Otsikko	Jaakko Karjala Paine-eron mukaan säätyvä ilmanvaihto
Sivumäärä Aika	38 sivua 11.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen suunnittelupäällikkö Pasi Tauru, DI
<p>Opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä Rejlers Finland Oy:n tekemiin ilmanvaihtosuunnitelmiin Espoossa sijaitsevaan kouluun ja tutkia, vastaako urakoitsijoiden asentaman ilmanvaihdon ja automaation toiminta suunnitelmia, millä pidetään rakennus aina hieman alipaineisena. Koulun ilmanvaihto on suunniteltu tarpeenmukaiseksi ja sitä säädetään lämpötilan, hiilidioksidin ja ulkovaipan yli vaikuttavan paine-eron mukaan. Ilmavirtojen säätö lämpötilaan ja hiilidioksidipitoisuuteen perustuen on jo tunnettu ja yleisesti käytetty säätötapa, mutta jatkuvaan paine-ero mittaukseen perustuva säätö ei tätä vielä ole. Tästä syystä työssä keskitytään paine-eron mukaiseen säätöön eikä muihin edellä mainittuihin säätötapoihin.</p> <p>Tavoitteena on tuottaa IV-suunnittelijoille ohjeita samankaltaisten järjestelmien suunnitteluun, tuoda esiin mahdollisia ongelmakohtia, jotka on syytä ottaa huomioon rakentamisen eri vaiheissa, ja lisätä tietoisuutta epäsuotuisien painesuhteiden aiheuttamista ongelmista.</p> <p>Opinnäytetyötä varten tehtiin ilmavirtojen tarkistusmittauksia eri tiloissa ja verrattiin niitä rakennusautomaation tallentamaan ilmanvaihdon mittaushistoriaan. Rakennusautomaatiojärjestelmä on ohjelmoitu tallentamaan, automaatioon kytkettyjen anturien ja laitteiden mitausarvot koko korjauksen jälkeiseltä käyttöajalta. Tallennettua dataa, ilmavirtamittauksia ja suunnitelmia analysoimalla saatiin todettua järjestelmän toimivuus.</p> <p>Tutkimuksista kävi ilmi, ettei kaikissa tiloissa toiminta ollut suunnitelmien mukaista, mutta osassa tiloista järjestelmä toimi kuten kuuluikin. Useiden tilojen ongelmana oli ylipaineisuus, joka johtuu pääosin virheellisesti ohjelmoidusta automaatiosta. Ongelmat vaikuttivat olevan kuitenkin helposti korjattavissa. Pidemmällä aikavälillä, kalliita ja hankalasti korjattavia ongelmia olisi voinut syntyä esimerkiksi rakenteiden kosteusvaurioina liiallisen sisätilojen ylipaineen vuoksi. Suositukset ylittäviä alipaineisuuksia ei esiintynyt kuin hetkittäisinä painesuhteiden heilahteluina.</p>	
Avainsanat	sisäilmasto, paine-ero, ilmanvaihto

Author Title	Jaakko Karjala Ventilation System Adjusted by Differential Pressure.
Number of Pages Date	38 pages 11 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Pasi Tauru, Designing manager
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the operations of a differential pressure adjusted ventilation system and establish how the system has maintained the preset differential pressure value in spaces equipped with differential pressure sensors. The goal for this final year project was to create helpful guidelines for the design of similar ventilation systems.</p> <p>The study was executed by analyzing and comparing data saved to the building automation system from the ventilation and differential pressure sensors. Air flow measurements were performed in place to ensure that the automation data had been correctly recorded.</p> <p>The study showed that in some spaces, the ventilation system worked as designed and the system was able to keep the desired differential pressure value between the indoors and outdoors. However, there were spaces where the system did not work as designed because of incorrectly executed automation.</p> <p>The final year project showed that it is extremely important to conduct thorough functional tests in modern automated ventilation systems after installation. Incorrectly installed systems can increase the energy consumption and create an unhealthy indoor environment for users, as well as cause damage in the structures of the building.</p>	
Keywords	ventilation, differential pressure, indoor environment

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paine-erojen muodostuminen	4
2.1	Ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero	4
2.2	Rakenteiden tiiviyden vaikutus paine-eroon	6
2.3	Terminen paine-ero	8
2.4	Tuulen aiheuttama paine-ero	14
3	Rakennuksen ilmanvaihtosuunnitelmat	16
3.1	B-talo, 7 000 brm <sup>2</sup>	16
3.2	C-talo, 2 500 brm <sup>2</sup>	18
3.3	Rakennusautomaatio	19
4	Kohteeseen valitut laitteet	22
4.1	Tuloilmalaite	22
4.2	Poistoilmalaite	22
4.3	Erillispoistot	23
4.4	Ilmamääräsäädin	23
4.5	Paine-eroanturi	24
5	Ilmanvaihdon ohjauksen toiminnan tarkistus	26
6	Tallennetun tiedon analysointi	29
6.1	C1-04 Puutyösali	30
6.2	C1-05 Pintakäsittely	30
6.3	C1-07 Kuumakäsittely	32
6.4	C1-20 Kuvaamataito	32
6.5	C1-26 Tekstiilityö	33
6.6	C1-35 Opetustila	33
7	Yhteenveto	34



## Lyhenteet

CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
IMS	ilmamääräsäädin
Pa	pascal, SI-järjestelmän paineen yksikkö
ppm	parts per million. Suhdeyksikkö, 10 000 ppm = 1 %
QE	hiilidioksidianturi
RAU	rakennusautomaatio
TE	lämpötila-anturi
VAK	valvonta-alakeskus

## 1 Johdanto

Ympäristöministeriön asetuksessa ”Uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta” ohjeistetaan, että

— erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan (1, s. 8).

Paine-eroon vaikuttavat ensisijaisesti tuuli, lämpötilaero ja ilmanvaihto. Huonosti säädettyllä ilmanvaihdolla voidaan saavuttaa todella suuret paine-erot sisä- ja ulkoilman välille. Asumisterveysoppaaseen on määritelty tavoitteelliset paine-erot rakennuksissa, koneelliselle ilmanvaihdolle tavoitearvo on 0... –2 Pa (2, s. 58–65). Rakennuksen tiiveydellä on suuri vaikutus siihen, kuinka isoksi paine-ero voi kasvaa. Mitä tiiviimpi on rakennus, sitä suuremmaksi epätasapainoinen ilmanvaihto paine-eron kasvattaa. Alipaineisuudella estetään sisäilman kosteuden siirtyminen rakenteisiin, liian suuri alipaineisuus tosin mahdollistaa ulkoilmassa ja rakenteissa olevien epäpuhtauksien siirtymisen sisäilmaan (3, s. 4). Kuva 1 on esimerkkinä liiallisen alipaineisuuden aiheuttamista ongelmista. Tuloilman riittävydestä huolehtimalla alipaine rakennuksessa ei kasva liian suureksi. Suuren alipaineisuuden vuoksi ulkoilman epäpuhtaudet ovat tunkeutuneet eristeisiin, mikä aiheuttaa ongelmia sisäilman laadussa. (4, s. 7.)



Kuva 1. Alipaineisuuden aiheuttama rakenneaurio (4, s. 7).

70- ja 80-luvun rakennuksissa ei pyritty estämään ulkoa sisäänpäin rakenteiden läpi tulevaa ilmavirtaa, vaan pyrittiin pelkästään estämään sisäilman virtaus rakenteisiin. Sisätiloihin luotiin riittävän suuri alipaine, joko pelkällä poistoilmavaihdolla tai säätämällä poistoilmavirrat suuremmaksi kuin tuloilmavirrat. Rakentamismääräyksissä ohjeistettiin suunnittelemaan ilmanvaihto siten, että paine-ero ulko- ja sisäilman välillä on 0...–30 Pa. RT-kortistossa (5, s. 2) ohjeistettiin mitoittamaan 2. ja 3. kerroksissa rakennuksissa tuloilmavirrat 25–35 % pienemmiksi kuin poistoilmavirrat. Tällä tavoiteltiin riittävän suurta alipainetta, että myös kylmällä säällä ylimmät kerrokset pysyvät alipaineisena.

90-luvulla myös ulkovaipan lävistäviä ulkoilmavirtoja pyrittiin ehkäisemään. Ulkovaipan tiiviyyden parantamisella haluttiin pienentää energiankulutusta sekä estämään radonin kulkeutuminen sisäilmaan. Ulkovaipan tiiveydessä on tapahtunut suuri muutos. Vanhemmassa rakennuskannassa ilmanvuotoluku ( $q_{50}$ ) voi olla jopa yli  $10 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . (6, s. 11.)



Vuoden 2017 joulukuussa julkaistussa säädöksessä uudisrakentamisessa ilmanvuotoluvun maksimiarvo on enää  $4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ , ja energiatehokkuuslaskennassa ilmanvuotoluvun vertailuarvo on vain  $0,6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  (7, s. 13–15).

Ilmavirtojen mittauksessa huonekohtainen ilmavirtojen toleranssialue on  $\pm 20 \%$  suunnitelluista ilmavirroista ja järjestelmä- tai huoneistokohtainen ilmavirtojen toleranssialue on  $\pm 10 \%$ . Syy tähän on huono mittatarkkuus, etenkin pienten ilmavirtojen mittauksessa. Mittauksessa on parannusta vuoden 1978 rakentamismääräyksiin, jolloin huonekohtainen toleranssialue oli  $\pm 30 \%$ . Järjestelmä- tai huoneistokohtainen toleranssialue on säilynyt ennallaan.

Jo pitkään on tiedostettu, että koneellisen poistoilmavaihdon aikaansaaman alipaineen ja vuotoilmavirtausten vuoksi rakennuksissa, kuten kouluissa, joissa on suuret mitoitusilmavirratt, syntyy ongelmia. Koneellisen tulo- ja poistoilmavaihdon ajateltiin ehkäisevän näitä ongelmia. Viimeisten 10 vuoden aikana on julkaistu useita tutkimuksia (6, s. 12), joissa koneellisella tulo- ja poistoilmavaihdolla varustetuissa rakennuksissa on mitattu yhtä suuria alipaineisuuksia kuin poistoilmavaihdolla varustetuissa rakennuksissa. Yleensä ulko- ja sisäilman välistä paine-eroa mitataan vasta sisäilmatutkimusten yhteydessä, kun rakennuksissa on jo havaittu ongelmia.

Ulkovaipan ilmavuotojen minimointi edellyttää tiiviyn parantamista ja mahdollisimman pientä paine-eroa ulko- ja sisäilman välillä. Paine-eroa ei voi mittauksen epätarkkuuden vuoksi säätää halutuksi pelkästään ilmavirtoja säätämällä ja koska paine-eroon vaikuttavat ilmavirtojen lisäksi myös ulko- ja sisäilman lämpötilaero, tuuli ja rakennuksen käyttö.

Oman haasteen paine-eron hallintaan tuovat myös rakennuksissa sijaitsevat erillispoistot, kuten liesituuletin. Nykyaikaisissa, tiiviissä rakennuksissa, erillispoistojen vaikutus kokonaisilmavirtoihin ja painesuhteisiin on pakko huomioida. (6, s. 11–12.)

Kaikki paine-eron arvot, jotka jatkossa esitetään, on mitattu ulkoilmaan nähden. Negatiiviset arvot tarkoittavat sisätiloissa vallitsevaa alipainetta ja positiiviset arvot tarkoittavat ylipainetta.

## 2 Paine-erojen muodostuminen

Sisä- ja ulkotiloissa vaikuttaa aina jonkin suuruinen paine-ero jossain kohtaa rakennusta. Rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttava paine-ero johtuu kolmesta tekijästä: ilmanvaihto on nykyaikaisissa rakennuksissa merkittävin paine-eron aiheuttaja ja termisen paine-eron aiheuttaa ulko- ja sisäilman välinen lämpötilaero, jota kutsutaan myös savupiippu-vaikutukseksi, sekä tuuli.

### 2.1 Ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero

Erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät vaikuttavat eri tavoin paine-eron muodostumiseen (8, s. 12). Taulukossa 1 on esitetty tavoitteellisia paine-eroja eri ilmanvaihtojärjestelmillä.

Taulukko 1. Tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihtojärjestelmillä (3, s. 26).

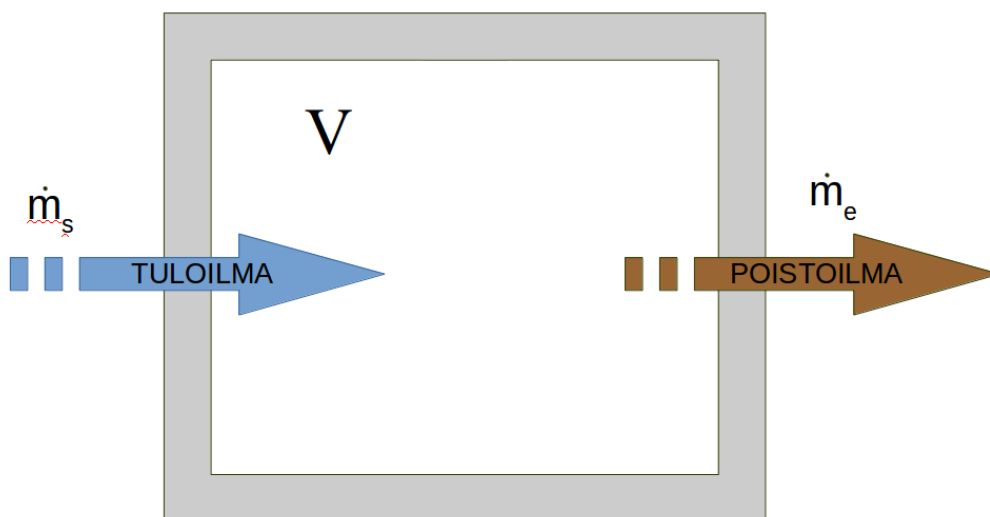
Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen Ilmanvaihtotapa	0- -5 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5- -20 Pa ulkoilmaan 0- -5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen tulo ja poistoilmanvaihto	0- -2 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan

Painovoimainen ilmanvaihto ei juurikaan aiheuta suuria paine-eroja ulko- ja sisäilman välille. Ilma vaihtuu tuulen ja ulko- ja sisäilman välisen lämpötilaeron vuoksi. Ilmanvaihtuvuus lisääntyy talvella, kun ulko- ja sisäilman lämpötilaero kasvaa. Kesällä lämpötila-erojen laskiessa laskee myös ilman vaihtuvuus. (8, s. 12.)

Koneellisia ilmanvaihtojärjestelmiä on kahta päätyyppiä: koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa tuloilmaa ei tuoda tilaan hallitusti, vaan poistoilmapuhaltimien aiheuttaman alipaineen vuoksi tuloilma saadaan epätiiviiden rakenteiden läpi tai ulkoseinässä sijaitsevien venttiilien

kautta. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa tuloilma tuodaan tilaan hallitusti ja suodatettuna ilmanvaihtokanavistoa pitkin. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon avulla, voidaan myös lämmittää tuloilmaa lämmöntalteenotto järjestelmän avulla. (9, s. 73.)

Koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä ilmavirtojen massatasapaino määrittää, tuleeko tilasta ali- vai ylipaineinen (kuva 2).

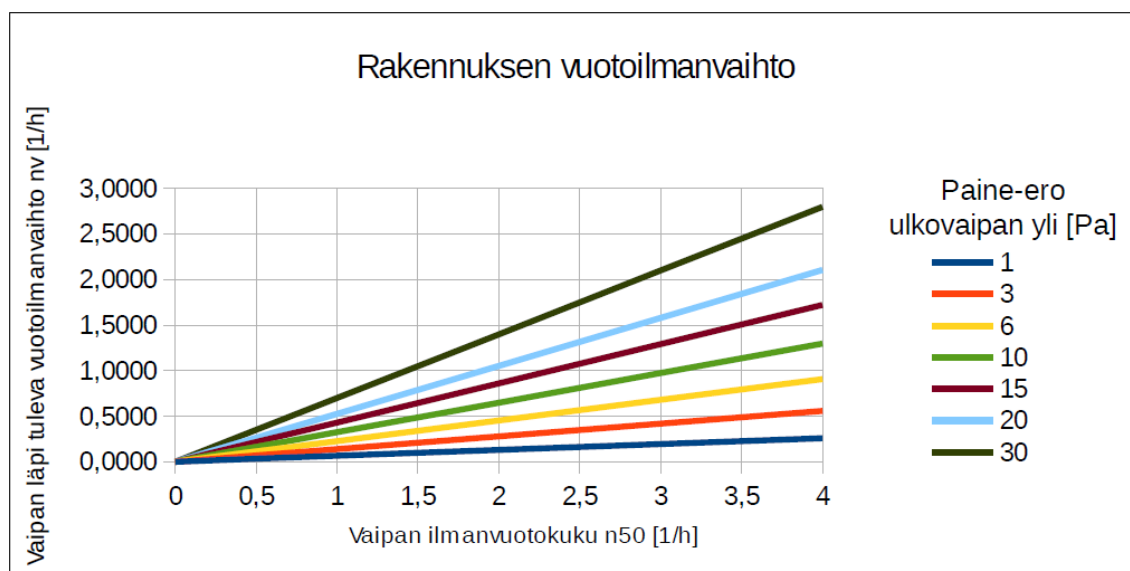


Kuva 2. Havainnointikuva tilan tulo- ja poistoilmavirtojen massatasapainosta (3, s. 14).

## 2.2 Rakenteiden tiiviyyden vaikutus paine-eroon

Rakennuksen ilmanpitävyys mitataan painekokeella, jossa rakennuksen aukot, tulisijat ja hormit tukitaan tiiviisti ja tilaan luodaan 50 Pa:n alipaine ulkoilmaan nähden puhaltimella. Yleensä puhallin asennetaan ulko-oveen tai ikkunaan. Alipaineen ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirtaus mitataan, joka jaetaan tilan ilmatilavuudella. Tällöin saadaan ilmanvuotoluku  $n_{50}$  yksikössä 1/h (kertaa tunnissa). (9, s. 77.)

Kuvan 3 kuvaajaan on havainnollistettu, minkälainen vuotoilmanvaihto syntyy erilaisilla ilmanvaihtoluvuilla ja paine-eroilla (3, s. 31).



Kuva 3. Ulkovaipan läpäisevä vuotoilmanvaihto (3, s. 31).

Uusien asetusten mukaan ulkoilmavirta rakennuksen suunnitellun käytön aikana tulee olla vähintään  $0,35 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  (1, s. 4). Tämä vastaa tilassa, jonka korkeus on 2,5 m ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h. Esimerkkinä voidaan kuvasta todeta, että vaatimukset täytävä ilmanvaihtokerroin saavutetaan, kun tila on 6 Pa alipaineinen ja ilmanvuotoluku on 2,5 1/h. Rakenteet lävistäessään tämä ilmanvaihtuvuus ei kuitenkaan täytä asetusten vaatimuksia sisäilman laadun terveellisyydestä, turvallisuudesta ja viihtyisyydestä.

Taulukossa 2 on esitetty, miten ilmamäärien mitoitus vaikuttaa paine-eroon ulkovaipan yli eri ilmanvuotoluvuilla. Ensimmäisen sarakkeen  $n_{50}$ -arvo vastaa erittäin tiivistä rakennusta. Tyypillisesti pientaloissa, joissa on hyvä ilmanpitävyys,  $n_{50}$ -luku on välillä 1-3 1/h (10, s. 20). Keskimmäinen vastaa jo kumotun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 vähimmäisarvoa (11, s. 11). Yleinen käytäntö on ollut mitoittaa tuloilma 10–15 % pienemmäksi kuin poistoilma. Tällä mitoitusavalla paine-ero pysyy maltillisena, kun ilmanvuotoluku on 4,0 1/h. Nykyaikaisessa hyvin tiivistetyssä rakennuksessa tällainen mitoitus tapa tuottaa jo erittäin suuren alipaineen rakennukseen. Taulukosta nähdään myös, että väljästi tiivistetyissä rakennuksissa ilmamäärien mitoituksella ei ole kovinkaan suurta vaikutusta paine-eroihin. (3, s. 31.)

Taulukko 2. Ilmavirtojen säätöjen vaikutus paine-eroon, eri ilmanvuotoluvuilla (3, s. 30).

Ilmanvaihdon säätö	Paine-ero [Pa] $n_{50}=0,15$ 1/h	Paine-ero [Pa] $n_{50}=4,0$ 1/h	Paine-ero [Pa] $n_{50}=10,0$ 1/h
Tasapainotettu ilmanvaihto	-7 - +4	-6 - +4	-6 - +4
15 % vähemmän tuloilmaa	-33 - -22	-7 - +4	-6 - +4
15 % enemmän tuloilmaa	+15 - +26	-6 - +5	-5 - +4

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  voidaan laskea ilmanvuotoluvusta  $n_{50}$  kaavalla 1 (3, s. 31).

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (1)$$

- $q_{50}$  on rakennusvaipan ilmanvuotoluku,  $m^3/(h \cdot m^2)$   
 $n_{50}$  on rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla, 1/h  
 $A_{vaippa}$  on vaipan pinta-ala, alapohja mukaan lukien,  $m^2$   
 $V$  on rakennuksen tilavuus,  $m^3$

### 2.3 Terminen paine-ero

Hormi- tai savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero syntyy, kun sisätilojen ulkoilmaa lämpimämpi ilma nousee rakennuksessa ylöspäin. Tällöin rakennuksen yläosaan muodostuu ylipainetta, ja ilma pyrkii virtaamaan ulos rakennuksen yläosasta. Alaosa on alipaineinen ulkoilmaan verrattuna, ja rakennuksen alaosista viileämpi ulkoilma pyrkii virtaamaan sisään. Paine-eron suuruuteen vaikuttaa ulko- ja sisäilman lämpötilaero ja rakennuksen korkeus. (8, s. 12–13.)

Ilman tiheys on kääntäen verrannollinen ilman lämpötilaan. Ilman tiheys ( $\rho$ ) voidaan laskea kaavalla 2 (6, s. 37).

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R_u \cdot T} \quad (2)$$

- $p$  on ilmanpaine, Pa
- $M$  on ilman moolimassa, 29 kg/kmol
- $R_u$  on yleinen kaasuvakio, 8315 J/(kmol·K)
- $T$  on absoluuttinen lämpötila, K

Terminen paine-ero ( $\Delta p$ ) voidaan laskea kaavalla 3 (9, s. 70).

$$\Delta p = 273 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \rho_0 \cdot \left( \frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s} \right) \quad (3)$$

- $g$  on putoamiskiihtyvyys, 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $\Delta h$  on etäisyys paineen neutraaliakseliin, m
- $\rho_0$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>
- $T_u$  on ulkoilman lämpötila, K
- $T_s$  on sisäilman lämpötila, K

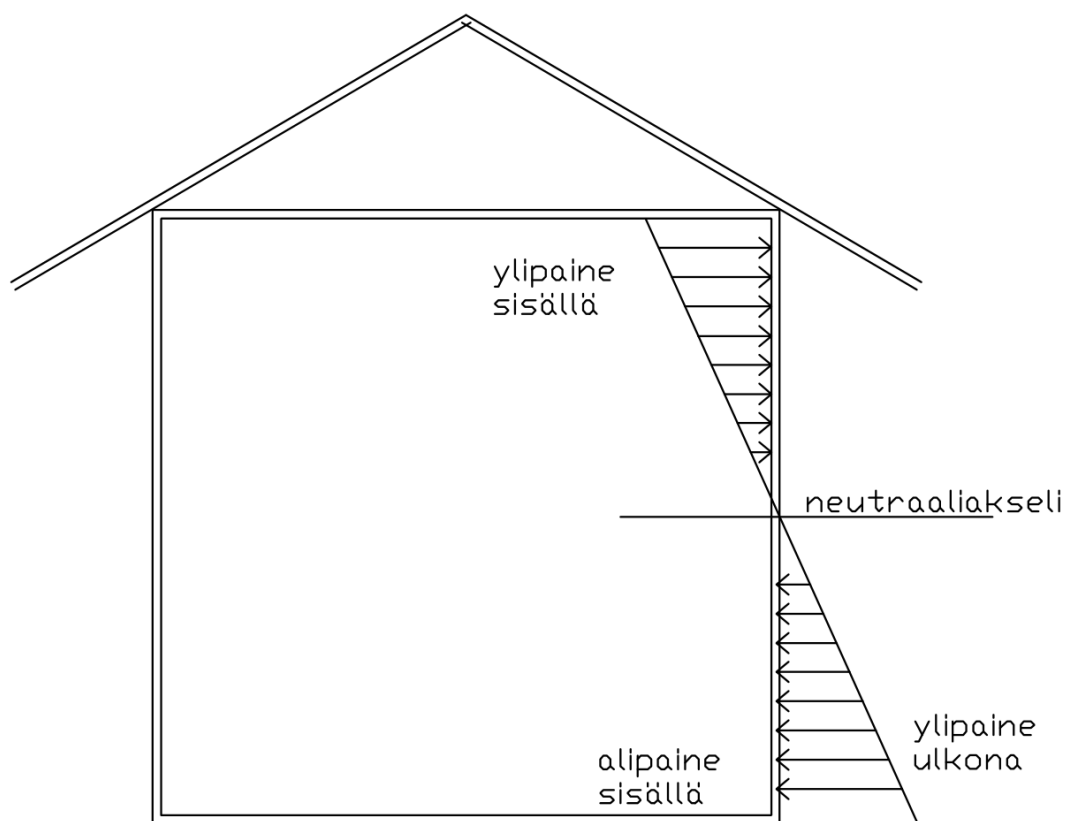
Taulukkoon 3 on laskettu, kuinka suureksi paine-ero kasvaa metrin matkalla eri ulkolämpötiloilla, kun sisälämpötila on 20 °C.

Taulukko 3. Terminen paine-ero eri ulkoilman lämpötiloilla (9, s. 70).

Ulkolämpötila [°C]	Terminen paine-ero [Pa/m]
20	0,00
10	0,42
0	0,86
-10	1,35
-20	1,87
-30	2,43

Kuvassa 4 on esitetty kaavassa 2 mainittu neutraaliakseli. Neutraaliakselilla paine-ero ulkovaipan yli on 0 Pa (3, s. 11). Jos rakennuksen kerrokset ovat avoimessa yhteydessä toisiinsa esimerkiksi porraskäytävän kautta eikä rakennuksessa ole ilmanvaihtoa ja rakenteet ovat tasaisen tiiviitä, paine-eron neutraaliakseli sijoittuu lähelle rakennuksen puoliväliä. Ilmanvuotoreitit siirtävät neutraaliakselia lähemmäksi vuotokohtaa. Kylmällä säällä ulko-oven avaaminen johtaa merkittävään paineen kasvuun rakennuksen yläosassa.

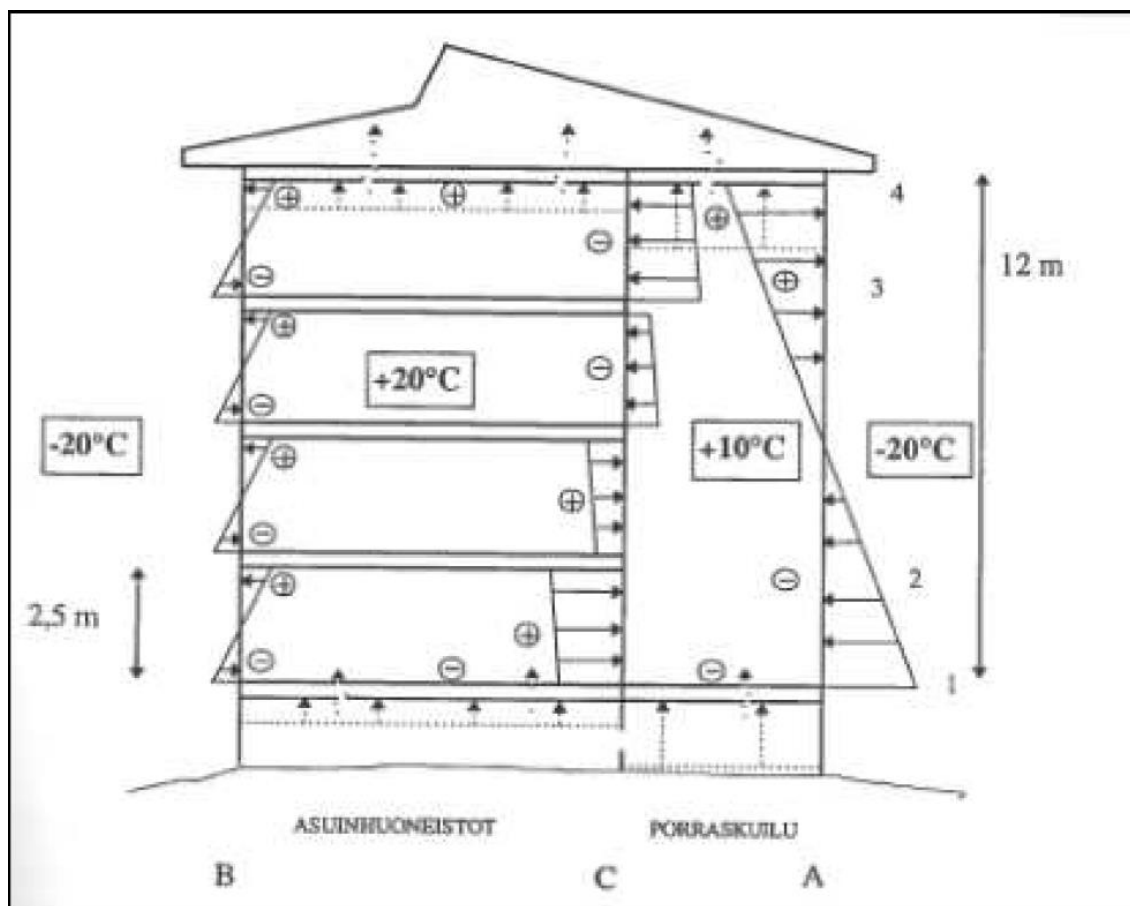
Koneellisissa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä, joissa poistoilmavirtaus on tuloilmavirtausta suurempi, neutraaliakseli siirtyy ylöspäin kasvattaen alaosan alipaineisuutta ja laskien yläosan ylipaineisuutta. (6, s. 37.)



Kuva 4. Termiset paine-erot rakennuksessa (3, s. 13)

Kuvassa 5 on esitetty, miten termiset paine-erot jakaantuvat tasatiiviissä rakennuksessa, kun ulkolämpötila on  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , asuinhuoneistoissa  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja porraskuilussa  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Rakennuksen alaosiin syntyy alipainetta, joka pyrkii imemään ulkoilmaa sisään. Yläosissa paine vaikuttaa eniten kattorakenteisiin.





Kuva 5. Termisten paine-erojen muodostuminen tasatiiviissä rakennuksessa (9, s. 71).

Korkeissa (yli 25 m) rakennuksissa paine-eroihin on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Hormivaikutuksen vuoksi terminen paine-ero rakennuksen sisällä voi kasvaa erittäin suureksi. Korkealla myös tuulen nopeus kasvaa voimistaen tuulesta aiheutuvaa paine-eroa. Hallitsemattomat ja suuret paine-erot voivat aiheuttaa rakenteisiin vaurioita ja vaikeuttaa ovien avautumista, mahdollistaen vaaratilanteita esimerkiksi evakuointitilanteissa. (6, s. 37.)

Keskitetyt ilmanvaihtojärjestelmät korkeissa rakennuksissa aiheuttavat suunnitteluun enemmän haasteita kuin mataliin rakennuksiin. Tiukat energiatehokkuus ja puhaltimien SFP-lukuvaatimukset asettavat rajoituksia ilmanvaihtokoneiden painetasoihin. Pitkien runkokanavien ja hormivaikutuksen aiheuttamat painehäviöt hankaloittavat suunnittelua. Tästä syystä ilmanvaihtokoneiden palvelualueiden jakaminen muutamien kerrosten ryhmiä voisi olla perusteltua. (12, s. 28.)

Talven kylmimmillä keleillä, hormivaikutus voi merkittävästi pienentää alimmaisten kerrosten tuloilmavirtausta. Poistoilmavirtaukseen hormivaikutus on päinvastainen. Kaavoilla 4 ja 5 voidaan laskea, miten hormivaikutus muuttaa ilmavirtauksia kylmällä säällä.

$$\Delta p_{talvi} = \Delta p_{kesä} + \Delta p \quad (4)$$

$$q_{talvi} = \sqrt{\frac{\Delta p_{talvi}}{\Delta p_{kesä}}} \cdot q_{kesä} \quad (5)$$

$\Delta p_{talvi}$	on hormivaikutuksen aiheuttama kanaviston painetaso, Pa
$\Delta p_{kesä}$	on kesäoloissa mitoitettu kanaviston painetaso, Pa
$\Delta p$	on hormin/kanavan aiheuttama paine-ero, Pa
$q_{talvi}$	on hormivaikutuksen aiheuttama ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{kesä}$	on mitoitusilmavirta, m <sup>3</sup> /s

Korkeissa rakennuksissa hormivaikutus vaikuttaa oleellisesti tulo- ja poistoilmavirtauksiin. Suurimmillaan hormivaikutus on pitkien runkokanavien alimmissa kerroksissa.

Taulukkoon 4 on kaavoja 4 ja 5 käyttäen laskettu hormivaikutuksen aiheuttamia muutoksia ilmavirtoihin 3:ssa eri tapauksessa, joissa korkeusero ja ilmavirrat vaihtelevat.

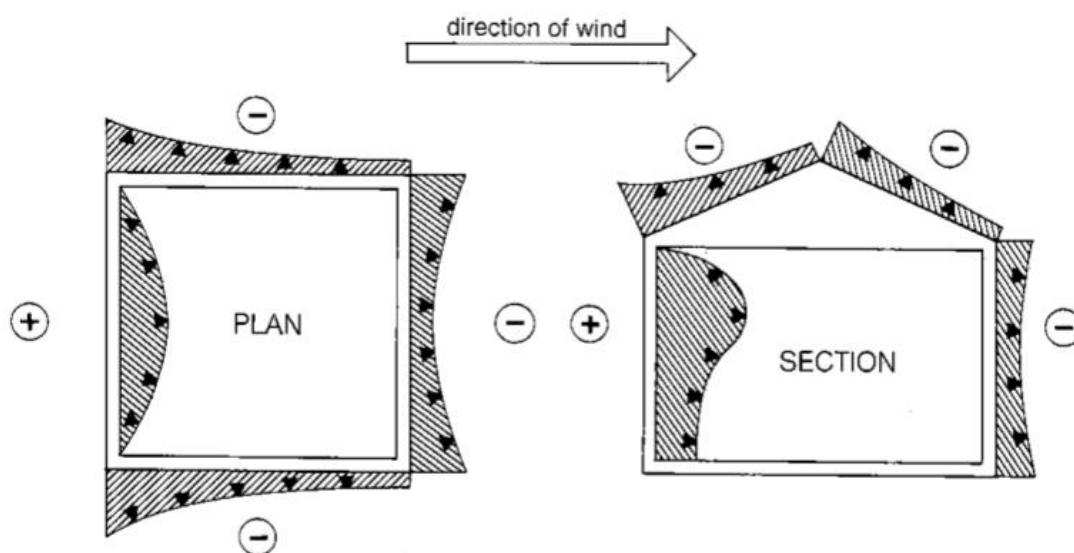
Taulukko 4. Hormivaikutuksen laskennallinen vaikutus ilmavirtoihin eri korkeuseroilla (12, s. 33).

	Tuloilma tapaus 1	Poistoilma tapaus 1	Tuloilma tapaus 2	Poistoilma tapaus 2	Tuloilma tapaus 3	Poistoilma tapaus 3
Ilmavirta kesätilanteessa l/s	30	33	40	44	26	29
Painetaso kesätilanteessa Pa	150	150	150	150	300	300
Hormivaikutus m	30	30	45	45	90	90
Hormivaikutus Pa	67	-67	101	-101	201	-201
Ilmavirta talvitilanteessa l/s	22	40	23	57	15	37
Painetaso talvitilanteessa Pa	83	217	49	251	99	501
Ilmavirtojen suhteellinen ero kesäaikana %	10		10		12	
Ilmavirtojen suhteellinen ero talviaikana %	78		148		152	
Ulkoilman lämpötila laskelmissa -26 °C Sisäilman lämpötila laskelmissa 21 °C						

## 2.4 Tuulen aiheuttama paine-ero

Suomessa säätila ja tuulisuus vaihtelevat suuresti ja nopeasti johtuen vilkkaasta matalapainetoiminnasta. Suomessa vallitseva tuulensuunta on lounaasta, ja rannikolla tuulisuus on sisämaata vilkkaampaa. Yleensä syksyisin tuulen keskinopeus on suurimmillaan ja keväisin pienimmillään.

Tuuli aiheuttaa paine-eron rakennuksen ulkovaipan yli (kuva 6). Tuulen nopeus, suunta, voimakkuus ja rakennuksen sekä maaston muoto vaikuttavat siihen, kuinka suureksi paine-ero muodostuu. Tuuleen vaikuttavia tekijöitä ja riippuvuussuhteita on monia, minkä vuoksi tuulen aiheuttamaa paine-eroa on käytännössä vaikea laskea.

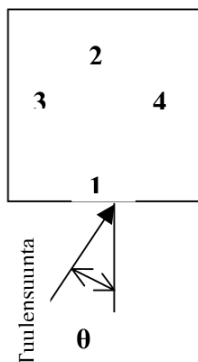


Kuva 6. Tuulen aiheuttama paine-ero rakennuksen vaaka- ja pystyleikkauksessa (3, s. 5).

Tuulen aiheuttamaa painetta ( $p$ ) voi arvioida kaavalla 6. Kaava antaa tulokseksi paineen ulkoilmaan nähden, jolloin sisätilojen paine on vastakkaismerkinen. Kuvaan 6 on esitetty arvoja tuulenpainekertoimelle  $C$ . Arvot eivät ole absoluuttisen oikeita, vaan arvioita, ja arvot vaihtelevat lähteiden mukaan. Tuulenpainekertoimen tarkkoja arvoja yleisesti on mahdotonta ilmoittaa, koska tuulenpainekenttään vaikuttavat rakennuksen ja maaston muoto, tuulen nopeus ja suunta sekä mahdolliset esteet. (3, s. 4–6.)

$$p = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot v^2 \quad (6)$$

- C on rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva kerroin (kuva 7)
- v on tuulen nopeus, m/s
- $\rho$  on ulkoilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

Seinä	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °	
Seinä 1	+0,4	+0,1	
Seinä 2	-0,2	-0,35	
Seinä 3	-0,3	+0,1	
Seinä 4	-0,2	-0,35	
Katto, kaltevuus alle 10°			
	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °	
Etuosa	-0,6	-0,5	
Takaosa	-0,6	-0,5	
Katto, kaltevuus 10...30°			
	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °	
Etuosa	-0,35	-0,45	
Takaosa	-0,35	-0,45	
Katto, kaltevuus yli 30°			
	Tuulen suuntakulma=0 °	Tuulen suuntakulma=45 °	
Etuosa	+0,3	-0,5	
Takaosa	-0,5	-0,5	

Kuva 7. Tuulenpainekertoimen C arvoja eri rakenneosille (3, s. 5).

Tuulen nopeutta (v) voi arvioida kaavalla 7. Kaavaa käytettäessä on huomioitava, että säähavaintoasemien mittaama tuulen nopeus suoritetaan noin 10 metrin korkeudessa. Mikäli arvioidaan tätä korkeampiin rakennuksiin kohdistuvaa tuulen painetta, täytyy tuulen nopeus määritellä erikseen. Säähavaintoasemilla tuulen nopeus mitataan avoimessa ympäristössä, jolloin tuulen nopeus täytyy suhteuttaa ympäristön muotoihin (taulukko 5). (3, s. 4–6.)

$$v = \beta \cdot v_{ref} \quad (7)$$

$\beta$  on tuulisuuskertoimen (taulukko 5)

$v_{ref}$  on lähimmän säähavaintoaseman tuulen nopeuden mittausta, m/s

Taulukko 5. Tuulisuuskertoimen  $\beta$  arvoja. (3, s. 6)

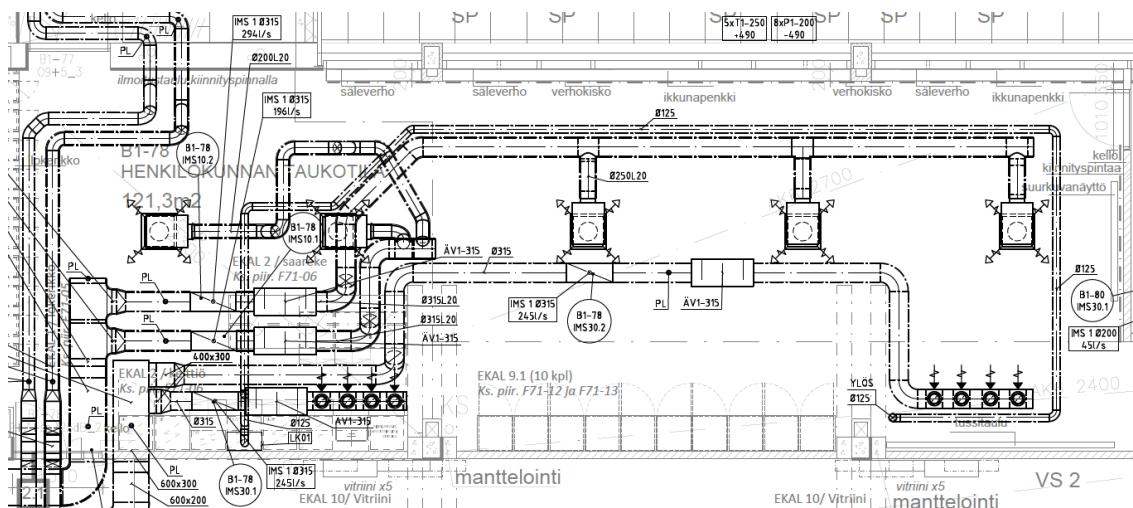
Maaston tyyppi	$\beta$
Avoim kenttä	1,00
Harvaa puustoa	0,70
Väljä pientaloalue	0,50
Metsä, tiheä pientaloalue	0,35
Kerrostalojen suojaama alue	0,27
Kaupunkien keskiosat	0,18

### 3 Rakennuksen ilmanvaihtosuunnitelmat

Koulu on jaettu kahteen erilliseen rakennukseen: B- ja C-osaan. B-talon uudet IV-koneet sijaitsevat kellariin tehdyissä IV-konehuoneissa, kellarikerroksessa sijaitsee myös teknistä tilaa ja kiinteistöautomaation valvomo. B-talon 1. ja 2. kerroksissa on opetustiloja, keittiö ja ruokala. C-talossa on neljä kerrosta: kellarikerros, 1. ja 2. kerroksissa on opetustiloja ja 3. kerroksessa sijaitsee vesikatolle asennettu uusi ilmanvaihtokonehuone.

#### 3.1 B-talo, 7 000 brm<sup>2</sup>

B-talosta esitellään pelkästään B1-78 Henkilökunnan taukotilan ilmanvaihto suunnitelma (kuva 8), koska kyseinen tila on B-talosta ainoa, joka on varustettu paine-eroanturilla. Tilan poisto- ja tuloilmavirrat on suunniteltu yhtä suuriksi.



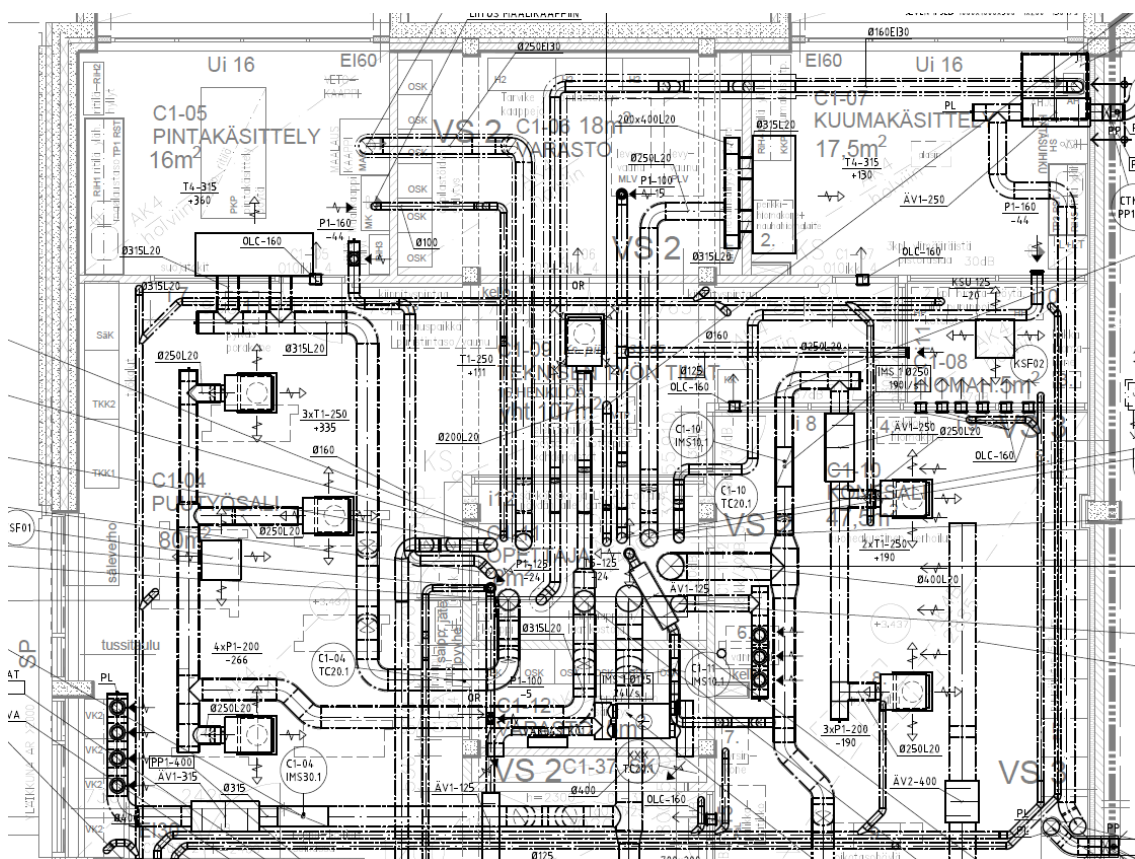
Kuva 8. B-talon huone B1-78 Henkilökunnan taukotila.

FINVAC ry on laatinut ilmanvaihdon suunnittelu oppaan, joka käsittelee ilmanvaihdon mitoittamista ympäristöministeriön asetusluonnoksen (16.2.2017) mukaisesti. Opas korvasi liitteen 1 säädöksestä: D2 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. Ohjeeseen Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa on listattu opetusrakennusten lisäksi mm. toimistorakennusten, sairaalojen, hoitokotien, ravintoloiden ja hotellien ohjeellisia, henkilömäärään tai pinta-alaan perustuvia vähimmäisulkoilmavirtoja, joiden avulla voidaan ylläpitää rakennuksessa hyvää sisäilmanlaatua (13, s. 2). Oppaan mukainen ulkoilmavirta opettajain huoneille on  $2 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . Tilan pinta-ala on  $121,3 \text{ m}^2$ , joten oppaan mukainen vähimmäisilmavirta olisi noin  $240 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tilan poisto- ja tuloilmavirraksi on suunniteltu  $490 \text{ dm}^3/\text{s}$ , eli noin  $4 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ . Ohjeistuksia suuremmilla ilmamäärillä saadaan varmuutta siihen, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus pystytään pitämään tavoitearvoissa, vaikka tiloissa olisi suuri käyttöaste ja hiilidioksidikuorma olisi runsas.

Tila jatkuu avoimena käytävälle, jota ei kuvassa 8 näy. Käytävä jatkuu oikealla alakulmassa näkyvien poistoilman päätelaitteiden kohdalta oikealle. Käytävällä sijaitsee koulusihteerin ja rehtorin työhuoneet, joissa molemmissa poisto- ja tuloilmavirraksi ovat yhtä suuret ( $45 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) sekä asiakirjavarasto ja wc-tiloja. Asiakirjavaraston ja wc-tilojen poistoilmavirta on yhteensä  $70 \text{ dm}^3/\text{s}$ , ja tuloilma tulee käytävältä siirtoilmana ovirakoa pitkin. Käytävän tuloilmavirta on  $90 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja poistoilmavirta  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

### 3.2 C-talo, 2 500 brm<sup>2</sup>

Teknisen työn tilat (kuva 9) sisältävät puutyösalin, pintakäsittelyn, kuumakäsittelyn, hio-  
mahuoneen, konesalin, opettajan huoneen sekä 2 varastoa. Puutyösalissa sekä pinta-  
ja kuumakäsittelytiloissa on yleispoiston lisäksi erillispoistopuhaltimet, ja nämä tilat on  
varustettu myös paine-eroanturein. Puutyösalin elektroniikan juotospöydän poistoilma-  
virta on 120 dm<sup>3</sup>/s. Pintakäsittelytilan maalauskaapin poistoilmavirta on 360 dm<sup>3</sup>/s ja  
kuumakäsittelytilan ahjon poistoilmavirta on 150 dm<sup>3</sup>/s. Koko tilan suunniteltu maksimi  
tuloilmavirta on 1 060 dm<sup>3</sup>/s ja maksimi poistoilmavirta on 1 086 dm<sup>3</sup>/s. Maksimi-ilmavir-  
rat saavutetaan vain tilanteissa, kun kaikki erillispoistot ovat kytketty päälle, jolloin paine-  
ero säädetään ilmamääräsäätimellä (IMS) asetusarvoon.



Kuva 9. Puutyösalin, pinta- ja kuumakäsittelytilojen sekä konesalin ilmanvaihto suunnitelma.



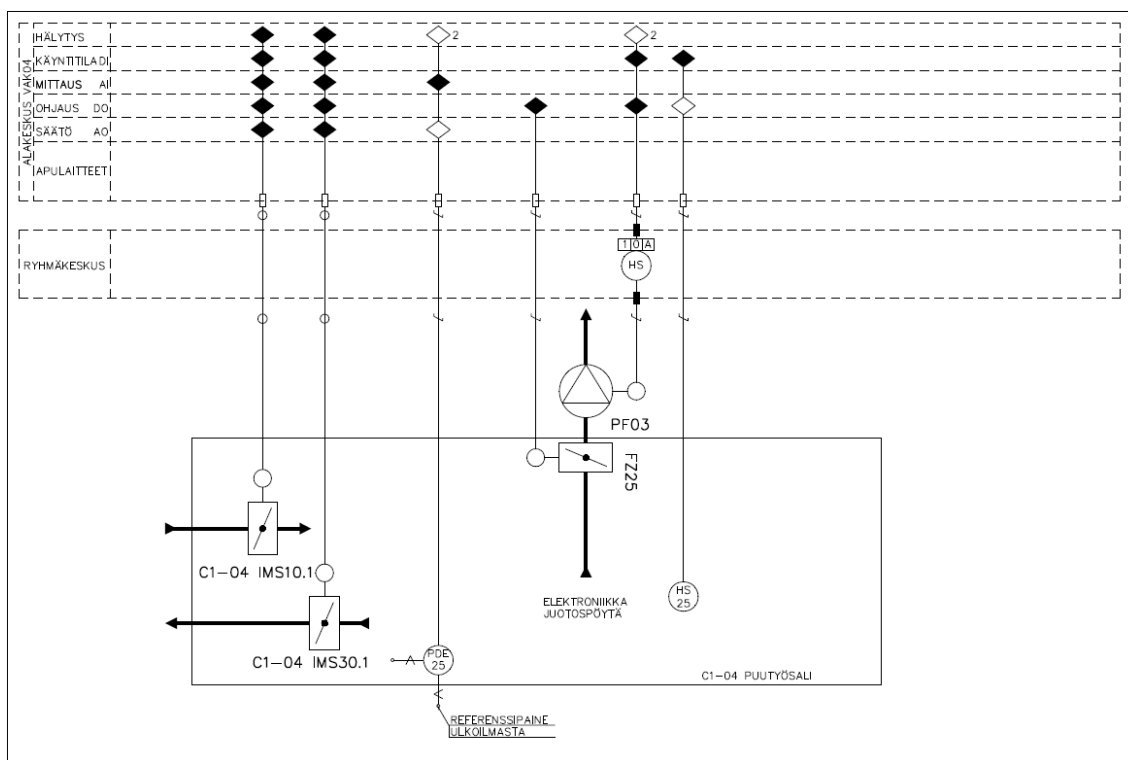
Tekstiilityötilan minimi-ilmamäärät ovat  $+110/-95 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja maksimi-ilmamäärä on  $+436/-420 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tuloilmasta  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$  siirtyy oviraon kautta tekstiilityövarastoon, jolloin tilat pysyvät alipaineisina, vaikka paine-ero ohjaus ei ole aktiivinen. Varaston poistoilmamäärä ( $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) pidetään vakiona. Tekstiilityötilan erillispoistona on pölynpoistopuhallin, jonka käytön aikana yleispoistoilmamäärää rajoitetaan IMS:llä. Tällä tavoitellaan paine-eron pitämistä asetusarvossa.

Kuvaamataidon opetustilassa minimi-ilmamäärät ovat  $+110/-75 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja maksimi-ilmamäärät ovat  $+438/-400 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tilan yhteydessä on myös siivouskomero ja varasto, joiden yhteenlaskettu poistoilmavirta on  $40 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tuloilma kuvaamataidon tilasta siirtoilmana näihin, jolloin kuvaamataidon opetustila pysyy alipaineisena. Tilassa on erillispoistot vetokaapissa ja uunissa. Erillispoiston käynnistyttyä yleispoiston määrää rajoitetaan IMS:llä.

Yksi opetustila (C1-35) on varustettu paine-eroanturilla. Opetustilan ilmamäärät ovat  $+120/-120 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Paine-eron asetusarvo on tässäkin tilassa  $-5 \text{ Pa}$ . Paine-eron pitämiseksi säädetään poistokanavan IMS:tä. Tilassa on erillispoistona liesikupu huippuimurilla, kuten opettajien taukotilassa.

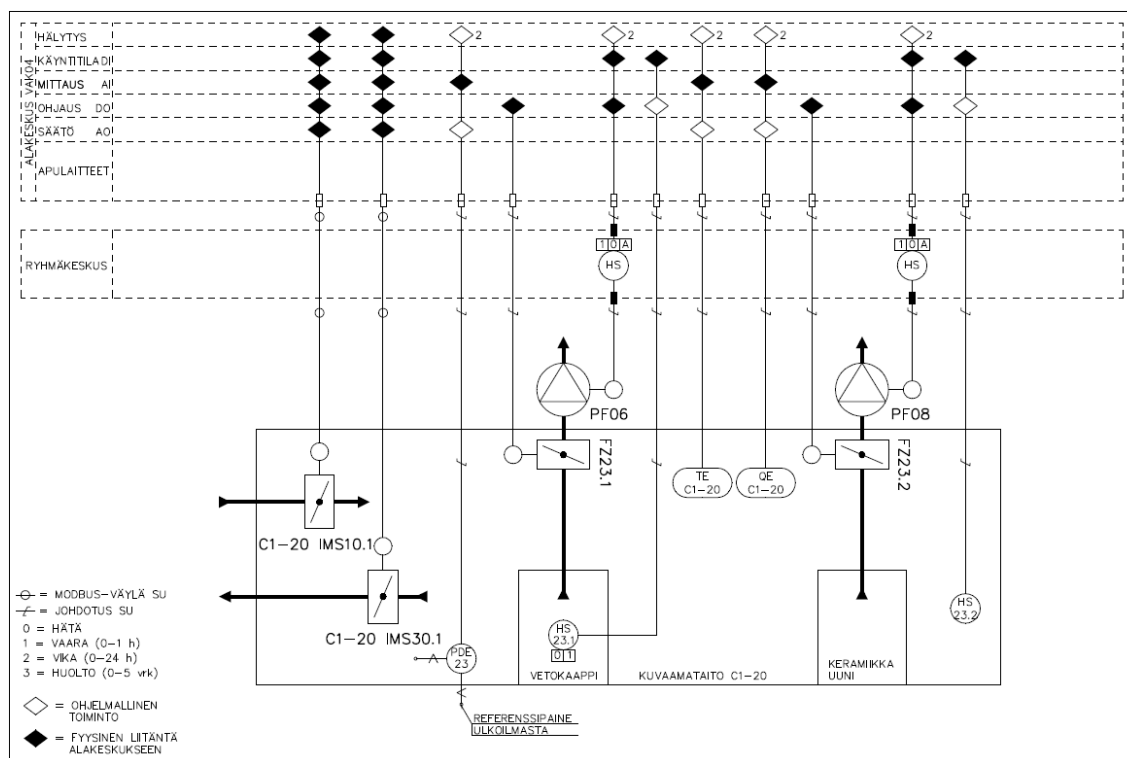
### 3.3 Rakennusautomaatio

Huonepainesäätökaaviossa (kuva 10) on esitetty, miten puutyösalin ilmamääräsäätimet, paine-eroanturi, erillispoistopuhallin ja puhaltimen käsikytkin on kytketty rakennusautomaatioon. Mustat ”salmiakit” säätökaavion yläosassa kertovat fyysisestä pisteestä ja valkoiset ohjelmallisesta pisteestä. Ohjelmallinen piste tarkoittaa VAK:een ohjelmoitua käsikyä. Esimerkiksi kun VAK saa paine-eroanturilta PDE25 mittauksiedon, se antaa ohjelmallisen säätökäskyn ilmamääräsäätimille (IMS). Fyysinen piste tarkoittaa anturilta tiedon viemistä johtoa pitkin VAK:een.



Kuva 10. Puutyösalin ilmanvaihdon säätökaavio.

Kuvan 11 säätökaavio on kuvaamataidon opetustilasta. Muissa tiloissa, joissa on paine-eroanturi, säätökaavio on vastaava paine-eron säädön osalta. Osa rakennuksen tiloista säätyy paine-eron lisäksi myös CO<sub>2</sub>-pitoisuuden ja lämpötilan mukaan. Kuvan 11 säätökaaviossa on esitetty lämpötila (TE)- ja CO<sub>2</sub> (QE)-anturit. Kuvaamataidon opetustilassa on myös kaksi erillispoistoa, vetokaappi ja keramiikkauuni, joiden puhaltimet on kytketty rakennusautomaatioon.



Kuva 11. Kuvaamataidon opetustilan säätökaaviossa lämpötila- ja CO<sub>2</sub>-mittaukset.

Toimintaselostuksessa (kuva 12) on kerrottu tarkemmin, miten säätöjen tulee tapahtua. Paine-eron asetusarvoksi kaikkiin tiloihin on toimintaselostuksessa määritetty –5 Pa. Painettaessa erillispoiston käsikytkintä pidetään paine-ero asetusarvossa ilmamääräsäätimiä säätämällä.

Normaalitilanteessa (erillispoistot kiinni) huonelämpötila pidetään asetusarvossaan ohjaamalla ilmamääräsäätimiä. Asetusarvo on +21 °C, kun ulkolämpötila on korkeintaan 15 °C, ja +24 °C, kun ulkolämpötila on yli 15 °C.

CO<sub>2</sub>-pitoisuuden noustessa yli arvon 600 ppm, ilmamääräsäätimet nostavat ilmavirtauksia, kunnes pitoisuus laskee alle 600 ppm:n. Jos CO<sub>2</sub>-pitoisuus nousee yli arvon 1 000 ppm, VAK antaa hälytyksen valvomoon.

## TOIMINTASELOSTUS

1. OHJAUKSET
  - Valvontajärjestelmän aikaohjelma määrää ilmanvaihdon vuorokautiset käyntiajat. (Vv)
  - Madikaapin poistoilmapiuhallin CTK02PF05 käy aina (Vv)
  - Tekstilipölynpoistolaitteisto CTK02PF07 saa käyntiluvan HS20 käskykimmeltä.
2. HUONEPAINEN SÄÄTÖ
  - Teknisten tilojen paine-eroa ulkoilmaan PDE21...PDE25 pidetään asetusarvossaan (-5 Pa) yleisilmanvaihdon virtaussäätimiä XXXIMS10.1 JA XXXIMS30.1 säätämällä.
- 2.1 C1-07 KUUMAKÄSITTELY JA C1-05 PINTAKÄSITTELY
  - Normaalitilanteessa (erillispoistot kiinni) ilmamääräsäätimet ohjattu minimi-ilmamäärälle kts. IV-suunnitelma. Painettaessa yhden tai useamman erillispoiston käskytkintä (HS21.1...HS22.1) poistoilman ims-säädin sulkeutuu ja tuloilman ims-säädin siirtyy säätämään huoneilman ja ulkoilman välistä paine-eroa.
- 2.2 C1-20 KUVAAAMATAITO
  - Normaalitilanteessa (erillispoistot kiinni) ilmamääräsäätimiä ohjataan lämpötilan ja hiilidioksidin mukaan, kts. kohta 4. Painettaessa yhden tai useamman erillispoiston käskytkintä (HS23.1 / HS23.2) tuloilman ims-säädin ohjautuu maksimi ilmamäärälle ja poistoilman ims-säädin siirtyy säätämään huoneilman ja ulkoilman välistä paine-eroa.
- 2.3 C1-26 TEKSTILIITYÖ
  - Normaalitilanteessa (erillispoisto kiinni) ilmamääräsäätimiä ohjataan lämpötilan ja hiilidioksidin mukaan, kts. kohta 4. Painettaessa erillispoiston käskytkintä (HS25) tuloilman ims-säädin ohjautuu maksimi ilmamäärälle ja poistoilman ims-säädin siirtyy säätämään huoneilman ja ulkoilman välistä paine-eroa.
- 2.4 C1-04 PUUTYÖSALI
  - Normaalitilanteessa (erillispoisto kiinni) ilmamääräsäätimiä ohjataan lämpötilan ja hiilidioksidin mukaan, kts. kohta 4. Painettaessa erillispoiston käskytkintä (HS25) tuloilman ims-säädin ohjautuu maksimi ilmamäärälle ja poistoilman ims-säädin siirtyy säätämään huoneilman ja ulkoilman välistä paine-eroa.
3. KOHDEPOISTOJEN OHJAUS
  - Kohdepoistojen ilmanvaihtoa ohjataan huoneessa olevilla käskytkimillä HS21.1...HS25. Painettaessa käskytkintä aukeaa kytkintä vastaava poistoilmapiuhallin FZ23.1 ja kohdepoistopuhallin käynnistyy.
  - Vetokaapin ilmanvaihtoa ohjataan vetokaapissa olevasta käskytkimestä HS23.1. Painettaessa käskytkintä aukeaa kytkintä vastaava poistoilmapiuhallin FZ23.1 ja poistopuhallin käynnistyy.
  - Tekstilipölynpoistolaitteisto CTK02PF07 käy oman ohjauskeskuksen (OK01) ohjaamana.
4. HUONELÄMPÖTILAN OHJAUS (KUVAAAMATAIDON JA TEKSTILIITYÖN LUOKAT)
  - Huoneen lämpötila pidetään asetusarvossaan (+24°C) ohjaamalla ilmamääräsäätimiä XXXIMS10.Y ja XXXIMS30.Y. Huoneen asetusarvo muuttuu ulkoilman lämpötilan mukaan; tu=+15°C tai alempi → asetus +21°C, muutoin asetus +24°C.
  - Huoneen CO<sub>2</sub>-pitoisuuden ollessa alle asetusarvon (600 ppm) ohjataan ilmamääräsäätimet XXXIMS10.Y ja XXXIMS30.Y minimi ilmamäärälle. Hiilidioksidipitoisuuden noustessa, alkaa ilmamääräsäätimen ilmamäärät kasvamaan kunnes asetusarvo on saavutettu.
5. LUKITUKSET JA VAROTOIMET
  - huonepaine-erosta saadaan vikahälytys (viiveen jälkeen) jos paine-ero poikkeaa asetusarvostaan pitempään kuin 5 minuuttia. Suurin sallittu jatkuva poikkeama 30 % asetusarvosta
  - huonepaine-erosta saadaan ylä- ja alarajahälytys (viiveen jälkeen). Maksimi alipaine on -15 Pa ja minimi -0 Pa.
  - painettaessa teknisissä tiloissa olevasta IV-hätä-seis -kytkimestä kaikki teknisten tilojen moottoripellit sulkeutuvat ja tiloja palveleva ilmanvaihtokone (CTK02) sekä poistoilmapiuhallit pysähtyvät.
- Huonelämpötilan kohotessa yli yläraja (esim. +26 °C) saadaan huoneesta lämpötilahälytys. Huoneilman hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä ylärajan (1000 ppm) saadaan huoneesta ilmanlaadun hälytys.
6. LUKITUKSET JA VAROTOIMET
  - 6.1 Ristiriitahälytykset
    - poistopuhallit saadaan ristiriitahälytys (viiveen jälkeen) jos puhaltimen käyntitila ei vastaa annettua käynnistyskäskyä. (Vv)
  - 6.2 Painettaessa palohälytyspainiketta
    - poistoilmapiuhallit pysähtyvät
    - saadaan G-luokan hälytys (Vv)
  - 6.3 Painettaessa iv-hätäseis -painiketta
    - poistoilmapiuhallit pysähtyvät
    - saadaan I-luokan hälytys (Vv)
7. ILMAMÄÄRÄSÄÄTIMEN LIITYNNÄT KIINTEISTÖAUTOMAATIOON
  - säätöellin säädin määritys
  - todellinen virtaus (l/s)
  - lämpötila celciusasteina
  - säätöellin asento prosentteina
  - moottori ei toimi hälytys
  - kulma-anturi ei toimi hälytys
  - virtauksen asetuspiirittä ei saavutettu hälytys
  - virtauksen mittausongelma hälytys

Kuva 12. Toimintaselostus huonepainesäätöä varten.

## 4 Kohteeseen valitut laitteet

### 4.1 Tuloilmalaite

Tiloissa on tuloilmalaitteena Oy Lindab Ab:n valmistama MB-paineentasauslaatikko suutinhajoittajalla. Laatikko soveltuu tulo- ja poistoilmalle. Tällaisen paineentasauslaatikon etuja ovat sen hyvä äänenvaimentavuus sekä kompakti koko. (14)

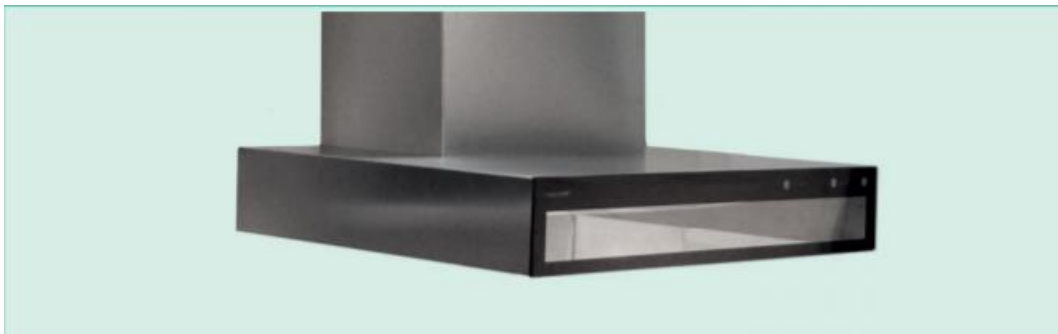
### 4.2 Poistoilmalaite

Tiloissa on poistoilmalaitteena Oy Lindab Ab:n valmistama KSU-venttiili. Venttiilin on kaisissa tiloissa halkaisijaltaan 200 mm.

#### 4.3 Erillispoistot

Tutkimukseen valitut tilat olivat opettajien taukotila, jossa sijaitsee liesituuletin, ja puutyötila, jossa on elektroniikan juotospöytä, joka on varustettu poistopuhaltimella.

Opettajien taukotila (B1-78) ja opetustila (C1-35) on varustettu SwegonCASA® Blues-mallisella liesikuvulla (kuva 13). SwegonCASA® Blues on 3-nopeuksinen, ja sen maksimi poistoilmavirta on 70 l/s (15).



Kuva 13. SwegonCASA® Blues (15).

#### 4.4 Ilmamääräsäädin

Ilmamääräsäädin tai ilmavirtasäädin on säätölaite, jolla säädetään tulo- tai poistokanavassa virtaavan ilman määrää. IMS asennetaan tulo- tai poistoilmakanavaan ja sillä voidaan säätää yhdelle tai useammalle päätelaitteelle virtaavan ilman määrää. (16, s. 3–4.)

Kohteeseen tiloissa on Oy Lindab Ab:n valmistama UltraLink®-ilmavirtasäädin FTCU. Laite soveltuu ilmavirtauksen mittaamiseen ja säätöön. Laitteessa on myös integroitu lämpötila-anturi lämpötilan mittausta varten.

FTCU mittaa ilmavirtaa ultraäänitekniikkaa hyödyntäen, jolloin mittatarkkuus on erittäin tarkka ja laite aiheuttaa pienemmän painehäviön kuin perinteinen mittayhteillä varustettu

ilmamääräsäädin. FTCU on myös toimintavarmempi, koska perinteisillä ilmamääräsäätimillä on ollut ongelmana pölyn ja lian kerääntyminen mittayhteiden ilma-aukkoihin, mikä vaikuttaa laitteen mittatarkkuuteen.

FTCU (kuva 14) koostuu runko-osasta, virtausantureista, toimilaitteesta, säätöpellistä ja näyttöpäätteestä. Tiedonsiirto tapahtuu digitaalisesti Modbus-väylää pitkin tai analogisella jänniteviestillä. (17)



Kuva 14. Lindab UltraLink-ilmavirtaussäädin. Halkaisijat 100–315 (17).

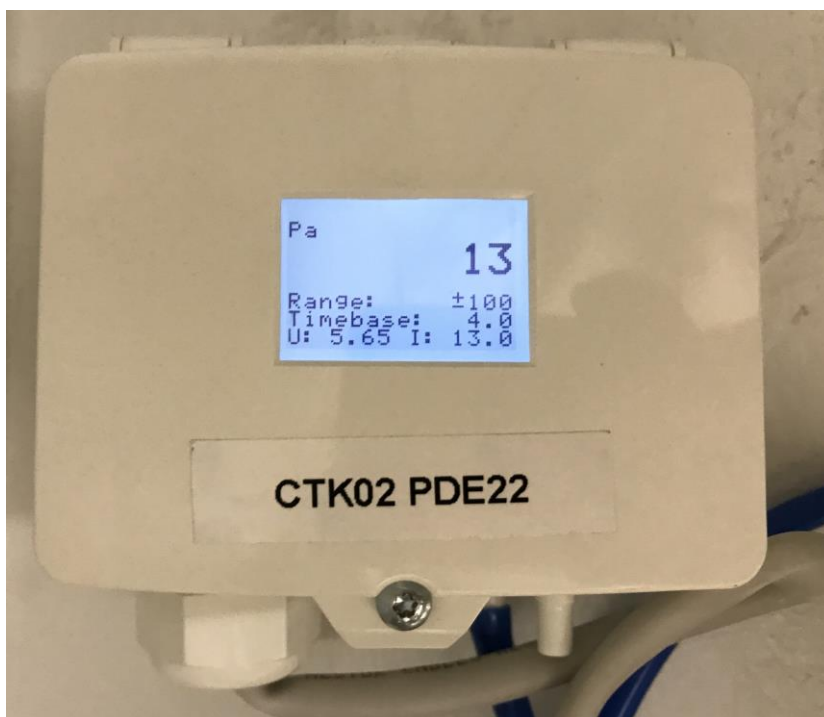
#### 4.5 Paine-eroanturi

Tiloissa on Thermokon Sensortechnik GmbH:n valmistama DPA-paine-eroanturi. DPA-anturista on saatavilla 3 eri mallia: 250, 2500 ja 7000. 250-malli soveltuu 300 Pa:n paine-erolle. Anturin mittatarkkuus  $\pm 1$  Pa, kun paine-ero on alle 250 Pa. 2500-malli soveltuu

2 500 Pa:n paine-erolle. Anturin mittatarkkuus  $\pm 5$  Pa, kun paine-ero on alle 500 Pa ja  $\pm 10$  Pa, kun paine-ero on yli 500 Pa. 7000-malli soveltuu 7 000 Pa:n paine-erolle. Anturin mittatarkkuus  $\pm 10$  Pa, kun paine-ero on alle 2 000 Pa, ja  $\pm 25$  Pa, kun paine-ero on yli 2 000 Pa. Anturilla on mahdollista mitata paine-eroa ja tilavuusvirtaa ilmasta ja muista palamattomista kaasuista.

Tutkittavaan kohteeseen asennettujen anturien malli on joko DPA2500 LCD AZ tai DPA2500 AZ. Ensin mainitussa on LCD-näyttö ja toisessa ei. Teknisiltä ominaisuuksiltaan anturit vastaavat toisiaan. (18)

Kuvassa 15 näkyy pintakäsittelytilassa sijaitseva paine-eroanturi. Anturin mittausasteikoksi valittu  $\pm 100$  Pa on riittävän suuri tarkoituksenmukaiseen mittaukseen. Anturin pohjassa vasemmassa kulmassa sijaitsee läpivienti johdotukselle, ja oikeassa kulmassa sijaitsevat ilmanpaineen mittausyhteet.



Kuva 15. DPA2500 LCD AZ -anturi. Näytössä näkyy mitattu paine-ero (13 Pa), mittausasteikko  $\pm 100$  Pa.

Kuvassa 15 näkyvä anturilta lähtevä sininen letku mittaa ulkoilman painetasoa (kuva 16).



Kuva 16. Paine-eroanturin ulkoilman paineen mittauspiste.

## 5 Ilmanvaihdon ohjauksen toiminnan tarkistus

Tilojen jatkuvan käytön vuoksi tarkempaan tutkimukseen otettiin aiemmin esitetyt henkilökunnan taukotila ja puutyötila niiden vähäisimmän käytön vuoksi. Näiden tilojen ilmamäärät mitattiin, kun tiloissa eivät erillispoistot olleet päällä. Kun ilmamäärät oli mitattu ja kirjattu muistiin, kyseisen tilan erillispoistopuhallin laitettiin päälle. Uusi mittaus suoritettiin, kun erillispoisto oli ollut päällä noin 10 minuuttia. Uusintamittauksen avulla pyrittiin todentamaan, toimiiko paine-eron mukaan säätävien IMS:ien ohjaus kuten on suunniteltu. Lisäksi koulun huoltomiehen kanssa oli sovittu, että hän laittoi tilojen erillispoistoja päälle sovittuna aikana. Näin saatiin hieman pidemmältä aikaväliltä dataa, joka voidaan automaation tallentamana lukea valvomon muistista.



Taulukkoon 6 on listattu B-talossa sijaitsevan opettajien taukotilan mittausarvot ja taulukkoon 7 C-talossa sijaitsevan puutyösalin mittausarvot. Mitatut ilmamäärät -sarakkeen ensimmäinen luku on mitattu, kun erillispoisto ei ole ollut päällä. Tätä ilmavirtaa vastaava painehäviö on myös ensimmäisenä viereisessä painehäviösarakkeessa.

Taukotilan mittauksien aikaan tiloissa ei ollut muita henkilöitä kuin mittaaja, joten vähäisen hiilidioksidikuorman vuoksi tilan ilmamäärät eivät nousseet mittauksen aikana kuin noin puoleen maksimi-ilmamäärästä.

Ensimmäisessä mittauksessa tilan tuloilmamäärä oli  $235,2 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja poistoilmamäärä  $260,1 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Paine-eroa seurattiin anturin näytöltä mittauksen aikana aktiivisesti. Paine-ero ensimmäisen mittauksen aikana oli  $-1 \dots +1 \text{ Pa}$ .

Noin 10 min ennen toista mittausta kytkettiin tilassa oleva liesituuletin päälle. Tuloilmamäärä kasvoi hieman ollen  $285,2 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Odotuksena oli, että poistoilmamäärä olisi laskenut ensimmäisestä mittauksesta liesituulettimen tuoman ilmavirtauksen vuoksi. Hieman yllättäen poistoilmamäärä kuitenkin nousi. Toisessa mittauksessa saatiin poistoilmamääräksi  $286,9 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Paine-ero pysyi toisen mittauksen aikana välillä  $-3 \dots -6 \text{ Pa}$ . Vaikka mitatut ilmavirrat ovat suhteellisen samat, täytyy muistaa, että liesituulettimen valmistajan mukaan sen maksimipoistoilmavirta on  $70 \text{ dm}^3/\text{s}$ , jolloin tilan poistoilmamäärä on ollut tuloilmamäärää suurempi ja aiheuttanut tilan alipaineistumisen.

Valitettavasti taukotilan osalta automaation mittaamaa paine-eronmittaus historiaa ei ollut ohjelmoitu tallentumaan, joten mittauks tuloksia ei voitu vertailla automaation tietojen kanssa.

Taulukko 6. Henkilökunnan taukotilan ilmvirran mittaustulokset.

Tila	Suunnitellut il- määrät max/min dm <sup>3</sup> /s	Mitatut ilmamäärät dm <sup>3</sup> /s	Painehäviö Pa
B1-78			
P1	61	37,6 / 38,1	17,8 / 18,3
P2	61	25,6 / 36,2	8,2 / 16,5
P3	61	24,2 / 35,3	7,3 / 15,7
P4	62	27 / 35,2	9,2 / 15,6
IMS30.2	245 / 61	114,4 / 144,8	
P5	61	36,4 / 35,8	16,7 / 14,4
P6	61	37,4 / 36,5	17,7 / 16,8
P7	61	37,3 / 37,7	17,5 / 17,9
P8	62	34,6 / 32,1	15 / 13
IMS30.1	245 / 100	145,7 / 142,1	
T1	98	57,5 / 62,9	5 / 6
T2	98	59,7 / 71	3,4 / 4,9
IMS10.1	196 / 88	117,2 / 133,9	
T3	98	40,3 / 60	1,4 / 3,3
T4	98	33,4 / 44,4	3,4 / 6
T5	98	44,3 / 46,9	6 / 6,7
IMS10.2	294 / 74	118 / 151,3	

Puutyösalissa tehtyjen mittausten aikana tilassa pidettiin samaan aikaan myös opetusta. Tilassa oli mittaajan lisäksi 12 henkilöä. Tilan tuloilmavirta pysyi mittausten aikana lähes vakiona, ja ilmamäärät vastasivat tilaan suunniteltuja maksimi ilmamääriä.

Ensimmäisen mittauskierroksen tuloilmavirraksi saatiin 395,2 dm<sup>3</sup>/s ja poistoilmavirraksi 258,4 dm<sup>3</sup>/s. Erillispoiston käynnistämisen jälkeen uusintamittaus suoritettiin jälleen noin 10 minuutin kuluttua. Toisella mittauskierroksella tuloilmavirraksi saatiin 382,8 dm<sup>3</sup>/s ja poistoilmavirraksi enää 102,4 dm<sup>3</sup>/s. Mittauksesta voidaan havaita, että poistoilman määrä on laskenut noin 60 % alkuperäisestä arvosta. Puutyötilan paine-eroanturia ei ole varustettu näytöllä, joten paine-ero täytyi tarkistaa valvomosta mittausten jälkeen.

Puutyötilan erillispoiston ilmamäärä on valmistajan mukaan 130 dm<sup>3</sup>/s. Poistoilman määrä 102,4 dm<sup>3</sup>/s. Puutyötilasta siirtyy viereisiin tiloihin siirtoilmana yhteensä 60 dm<sup>3</sup>/s. Tästä huolimatta tuloilmavirta oli noin 90 dm<sup>3</sup>/s suurempi kuin poistoilmavirta, jolloin tila ei voi olla alipaineinen. Tämän osoitti myös paine-eromittaus valvomossa. Erillispoiston päälläoloaikana tilan paine-ero kasvoi ollen noin 7–9 Pa. Ennen mittauksia paine-ero oli 3–5 Pa.

Taulukko 7. Puutyötilan ilmavirran mittaustulokset.

Tila	Suunnitellut ilmamäärät max/min l/s	Mitatut ilmamäärät l/s	Painehäviö Pa
C1-04			
P1	67	65,2 / 25,7	53,6 / 8,3
P2	67	60,5 / 26,4	46,2 / 8,7
P3	66	66,6 / 24,9	55,9 / 7,8
P4	66	66,1 / 25,4	55,1 / 8,1
IMS.30.1	266 / 90	258,4 / 102,4	
T1	112	99,8 / 95	24,9 / 22,5
T2	112	112,3 / 104,8	16 / 13,9
T3	111	105,1 / 104,5	13,1 / 13
T4	111	78,0 / 78,5	38,9 / 39,4
IMS.10.1	400 / 125	395,2 / 382,8	

## 6 Tallennetun tiedon analysointi

Teknisten tilojen ja yhden paine-erolla varustetun opetustilan, automaation tallentamat tiedot ladattiin mittausjaksolta 1.8.2019–30.11.2019. Tallennus oli alkanut jo touku-kuussa, mutta koulussa alkoi toimintaa olemaan vasta elokuun aikana, joten kesän mit-  
tausdataa ei alettu tutkimaan.

Henkilökunnan taukotilan tiedot olivat tallentuneet IMS:ien osalta, mutta paine-eron mitaustuloksia ei ollenkaan. Pelkkien ilmavirtojen tutkiminen ei ollut mielekästä, koska suoraan niistä ei voi päätellä paine-eroa luotettavasti.

## 6.1 C1-04 Puutyösali

Puutyösalin mittausdataa tutkiessa hyvin nopeasti kävi ilmi, että tuloilman ohjauksessa on jotain pielessä. Tilan ilmavirtojen tulisi olla minimissä, kun tila ei ole käytössä. Minimililmavirrat tilaan olivat  $+125/-90 \text{ dm}^3/\text{s}$ , tuloilmasta  $60 \text{ dm}^3/\text{s}$  siirtoilmana tiloihin pinta- ja kuumakäsittely sekä varastoihin. Koko mittausjakson ajalta suurimman osan ajasta tuloilmavirtaus on ollut maksimissaan. Maksimi tuloilmavirta puutyösaliin on  $400 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja maksimi poistoilmavirta  $266 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Näin paljon suurempi tuloilmavirta johtuu siitä, että erillispoistojen käynnistyessä saadaan tilan ilmanvaihtuvuus suureksi. Erillispoiston ilmavirta on vakio, ja yleispoistoa säätämällä pidetään paine-ero asetusarvossaan. Poistoilmaa reilusti suurempien tuloilmavirtojen vuoksi mittausjakson ajan paine-eron keskiarvo on ollut  $10,2 \text{ Pa}$ . Suurimman osan ajasta paine-ero on seilannut  $20 \text{ Pa}$ :n molemmin puolin, ja aikaohjelman pysäyttäessä ilmanvaihtokoneet paine-ero on tippunut lähelle  $0 \text{ Pa}$ :a.

Puutyösalin erillispoistot ovat olleet käyttämättömiä, pois lukien huoltomiehen tekemää päälle kytkemistä. Ennen erillispoiston päälle kytkemistä tilan paine-ero on ollut noin  $20 \text{ Pa}$ , tulo- ja poistoilmavirrat maksimissaan. Erillispoistot oli sovittu laitettavan päälle kello  $8:00$ , ja juuri tällä hetkellä tiedoissa näkyy poistoilmavirran laskeminen puoleen, noin  $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ , ja paine-ero tippui  $6 \text{ Pa}$ :iin. Tämän noin  $4$  tunnin käytön aikana tilan paine-eron keskiarvo on ollut  $10,6 \text{ Pa}$ . Tilan asetusarvo paine-erolle oli  $10 \text{ Pa}$ . Tulos todistaa, että automaatio kykeni säätämään paine-eron asetusarvoon, mutta väärän asetusarvon takia tila oli aivan liian ylipaineinen.

## 6.2 C1-05 Pintakäsittely

Pintakäsittelytilan suunnitelmien mukainen asetusarvo paine-eroksi on  $-5 \text{ Pa}$ , automaatiojärjestelmään oli asetettu  $10 \text{ Pa}$ . Mittausjakson ajalla paine-eron keskiarvo on ollut

11,9 Pa, korkeimmillaan jopa 52 Pa ja matalimmillaan –99 Pa. Matalin mittaustulos on tallentunut torstaiaamuna kello 8:35. Kyseessä oli noin puolen tunnin ajan jakso, jolloin paine-ero lähti kasvamaan noin –11 Pa:sta nousten –99 Pa:iin, josta se alkoi hiljalleen laskea takaisin noin –10 Pa:iin. Koko tuona aikana poistoilmavirta on ollut suljettuna. Tuloilmavirta on vaihdellut välillä 185–65 dm<sup>3</sup>/s. Tilanne on voinut johtua siitä että, tilan erillispoisto on kytketty päälle (360 dm<sup>3</sup>/s), mutta tuloilman IMS ei ole jostain syystä auennut riittävästi tarvittavan paine-eron saavuttamiseksi.

Tilassa on yleispoiston lisäksi kemikaalikaappi ja maalauskaappi, joilla on molemmilla oma erillispoisto. Yleispoiston ilmavirta on vakio 44 dm<sup>3</sup>/s, aina kun maalauskaapin erillispoisto on suljettuna. Tuloilmavirran on suunniteltu olevan myös 44 dm<sup>3</sup>/s. Maalauskaapin erillispoiston käynnistyessä yleispoiston pitäisi sulkeutua. Maalauskaapin poistoilmavirta on 360 dm<sup>3</sup>/s. Kemikaalikaapin poistoilmavirta on 20 dm<sup>3</sup>/s, ja sen erillispoistopuhallin käy jatkuvasti.

Poistoilmavirran pitäisi siis olla 44 dm<sup>3</sup>/s aina, kun maalauskaapin erillispoisto ei ole päällä. Tästä huolimatta mittausaikajakson poistoilmavirran keskiarvo on ollut vain 4,5 dm<sup>3</sup>/s ja korkein mitattu poistoilmavirta on ollut 27 dm<sup>3</sup>/s. Tuloilmavirran keskiarvo on ollut 41,8 dm<sup>3</sup>/s, eli käytännössä se on pysynyt suunnitelluissa arvoissa ja tila on ollut ylipaineinen.

Mittausdatasta ilmeni yksi kerta, kun maalauskaapin erillispoisto on kytketty päälle. Tuona 4 h:n aikana poistoilman IMS sulkeutui ja tuloilmavirta nousi hiljalleen noin 360 dm<sup>3</sup>/s:iin. Koko tänä aikana paine-ero seilasi hyvin lähellä asetusarvoa (10 Pa), ja paine-eron keskiarvoksi muodostui 5,9 Pa. Muutamia notkahduksia paine-erossa näkyi mittausdatassa, jotka laskivat keskiarvoa reilusti. Mittausjakso käsitti yhteensä 49 kpl paine-eromittauksia, joista 8 kpl arvo oli yli 10 Pa. Korkeimmillaan paine-ero oli noin 18 Pa. Loput 41 kpl mittauksista olivat alle 10 Pa, ja niistä 4 kpl tapahtui aivan mittausjakson alussa. Matalin paine-ero mittauksessa oli –23,1 Pa. Jos keskiarvosta pudotetaan pois alkupään paine-eron arvot, tulokseksi saadaan noin 7 Pa. Alun suuret paine-erot johtuvat siitä, että erillispoistopuhaltimen käynnistyessä tuloilma-IMS reagoi hitaammin paine-eron vaihteluun, kuin erillispoisto kykenee luomaan paine-eroa.

Täytyy muistaa, että paine-eroihin vaikuttaa moni asia, ja tällaiset suuret ja nopeat muutokset voivat johtua esimerkiksi tuulesta tai ovien avaamisesta.

### 6.3 C1-07 Kuumakäsittely

Kuumakäsittelytilan paine-eron keskiarvo mittausjakson aikana on ollut 8,6 Pa. Suurimmillaan paine-ero on noussut 43,6 Pa:iin ja matalimmillaan laskenut -43,7 Pa:iin. Tilan ilmavirrat pysyivät melko vakiona koko ajan, tuloilmavirta oli noin 45 dm<sup>3</sup>/s ja poistoilmavirta noin 30 dm<sup>3</sup>/s. Puutöiden opettajan mukaan erillispoistoja ei ole käytetty hänen opetuksessaan. Mittausdatastakaan ei löytynyt tilannetta, jossa paine-eroa olisi säädetty. Kuten pintakäsittelytilassa, tässäkin tilassa kytkettäessä erillispoisto päälle tulisi poistoilman IMS:in sulkeutua. Ainoat ilmavirtojen pysähtymiset ovat johtuneet ilmanvaihtokoneiden aikaohjelmista. Tilan paine-eron asetusarvoksi oli määritetty automaatiojärjestelmään, suunnitelmista poiketen asetettu 5 Pa. Suunnitelmien mukainen paine-ero olisi ollut -5 Pa.

### 6.4 C1-20 Kuvaamataito

Kuvaamataidon opetustilassa paine-eron asetusarvo oli suunnitelmien mukainen -5 Pa. Mittausjakson aikana paine-eron keskiarvo on ollut 0,97 Pa eli hieman ylipaineinen. Matalimmillaan paine-ero on ollut -25 Pa ja korkeimmillaan 9,1 Pa. Alle -20 Pa:n paine-eroja oli esiintynyt vain muutaman kerran mittausjakson aikana. Jokainen näistä oli lisäksi ollut yksittäinen piikki, luultavasti tuulen puuskan aiheuttama tai jonkinlainen mittausvirhe. Tilan tuloilman asetusarvoa voisi rajoittaa, ettei ylipainetta pääse muodostumaan.

Mittausdatasta löytyi tilojen mahdollisena pidettävänä käyttöaikana muutamia tilanteita, jolloin paine-ero on ollut lähellä asetusarvoa. Nämä hetket olleet 5–10 minuutin mittaisia pätkiä, jolloin on näkynyt selvä muutos sekä paine-erossa että ilmavirroissa. Tämä viittaa

siihen, että tilan erillispoisto olisi ollut päällä ja automaatio on pyrkinyt säätämään ilmapirroilla paine-eroa.

## 6.5 C1-26 Tekstiilityö

Tekstiilityön tilassa paine-eron asetusarvo oli suunnitelmien mukainen  $-5$  Pa. Mittausjakson aikana paine-ero on pysynyt kohtuullisen matalana. Keskiarvo on ollut  $0,4$  Pa eli aavistuksen ylipaineinen. Matalimmillaan paine-ero ollut  $-2$  Pa ja korkeimmillaan  $7,7$  Pa. Tilan tuloilman asetusarvoa voisi rajoittaa, ettei ylipainetta pääse muodostumaan. Paine-ero on kuitenkin pysynyt melko vakiona, ja matalimmat ja korkeimmat arvot ovat olleet hetkellisiä piikkejä. Matalin paine-ero kuitenkin ei ole lähellä asetusarvoaan, joten painesuhteiden säädön toimivuuden suhteen voi olla hieman skeptinen. Tilan osalta ei saatu tietoa, minkälainen käyttöaste erillispoistoilla on ollut.

## 6.6 C1-35 Opetustila

Opetustila C1-35 ja henkilökunnan taukotila B1-78 ovat ainoat paine-eroanturilla varustetut tilat, joiden ilmanvaihdon tulisi säätyä ilman erillispoiston kytkemistä päälle.

Suunnitelmissa paine-eron asetusarvoksi oli määritetty  $-5$  Pa, näin oli myös rakennusautomaatioon ohjelmoitu. Tästä huolimatta mittausjakson aikana (08/2019–11/2019) tilan maksimi paine-ero on ollut  $10,3$  Pa ja minimi paine-ero  $9,8$  Pa, ja paine-eron keskiarvo oli  $9,9$  Pa. Automaatiikka ei siis ole pystynyt pitämään paine-eroa asetusarvossaan. Data ei edes viittaa siihen, että automaatio olisi pyrkinyt laskemaan paine-eroa. Sääntökaavion mukaan opetustilan painetta ohjataan poistoilma IMS:iä säätämällä. Jos automaatio olisi pyrkinyt säätämään paine-eroa, poistoilmavirtauksen olisi pitänyt olla tuloilmavirtausta suurempi. Mittausjakson aikana maksimi poistoilmavirta on ollut noin  $85 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja tuloilmavirta  $130 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tulo- ja poistoilmavirtojen keskiarvo on ollut  $+100/-74 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Ilmavirtojen mittauspöytäkirjan mukaan tilan poistoilmavirta on sääntöjen jälkeen ollut  $128 \text{ dm}^3/\text{s}$ , joten IMS kuristaa ilmavirtaa jostain syystä. Opetustilan ilmavirtojen ohjauksen asetusarvoissa on selkeästi jotain vikaa, ja virhe on syytä korjata mahdollisimman pian.

Tilan CO<sub>2</sub>-pitoisuus on mittausjakson aikana pysynyt kiitettävällä tasolla, eikä ole kuin hetkittäin noussut yli arvon 600 ppm. CO<sub>2</sub>:n keskiarvo mittausjaksolla on ollut 452 ppm.

Mittaustulosten todenmukaisuutta voi epäillä hyvin pienten paine-eron muutosten vuoksi ja siitä syystä, että paine-ero on pysynyt lähes vakiona, vaikka ilmanvaihtokoneiden aikaohjelma pysäyttää koneet päivittäin aikavälille kello 22:15–23:59. Olivat paine-eron mittaukset todenmukaisia tai ei, joka tapauksessa ilmavirrat puoltavat tilan ylipaineisuutta, sillä poistoilmavirta on koko mittausjakson ajan ollut noin 30–40 dm<sup>3</sup>/s pienempi kuin tuloilmavirta (pois lukien käyttökatkokset).

## 7 Yhteenveto

Yleisesti ottaen rakennukset suunnitellaan hieman alipaineiseksi, jotta estetään sisäilman kosteuden tunkeutuminen rakenteisiin. Rakenteissa oleva kosteus voi aiheuttaa ongelmia sisäilmaan ja käyttäjien terveyteen. Rakennus toimii väistötilana espoolaiselle koululle, ja kyseinen koulu on joutunut muuttamaan väistötiloihin sisäilmaongelmien vuoksi.

Tämänkin kohteen suunnittelussa alipaineisuuteen on pyritty ja siihen on kiinnitetty erityistä huomiota. Suunnittelemalla paine-eroantureita eri tiloihin mittaamaan paine-eroa voidaan erillispoistojenkin käyntiaikana pitää sisätilat alipaineisina. Kuten edellisestä osiosta voi lukea, koko mittausjakson (1.8.2019–30.11.2019) aikana tilat olivat ylipaineisia. Suurin syy tähän on ollut se, ettei automaatio ole kyennyt ohjaamaan ilmanvaihtoa oikein. Tarpeettoman suuret ilmavirrat käyttöaikojen ulkopuolella kuluttavat paljon energiaa ja tuovat ylimääräisiä kustannuksia sähkö- ja lämmitysenergian kulutuksen vuoksi. Useista tutkituista tiloista havaittiin tilanteita, joissa yöaikaan tilojen tuloilmavirtaus on maksimissaan.

Kohteessa ilmavirrat säätyivät paine-eron mukaan tietyissä tiloissa ja tilanteissa. Vähäisten erillispoistojen käyttöjen takia pitkällä aikavälillä nämä tilanteet jäivät hyvin harvakuiksi.



Laitevalintaan tulee myös kiinnittää erityistä huomiota. Paine-eroanturin mittatarkkuus tässä kohteessa oli mielestäni aivan liian iso. Tavoitteena oli pitää paine-ero  $-5$  Pa:ssa anturilla, jonka mittavirhe on  $\pm 5$  Pa. Kyseisen anturin valmistajalla, ja myös muilla valmistajilla, on antureita, joiden mittavirhe tähän tarkoitukseen soveltuvalla mitta-asteikolla on  $\pm 1$  Pa. Näytöllisen anturin sijoittaminen alakaton yläpuolelle (kuva 17) ja näytöttömän anturin sijoittaminen näkyvälle paikalle oli vähintäänkin erikoista.



Kuva 17. Näytöllinen paine-eroanturi alakaton yläpuolella.

Nykyisin moniin rakennustyyppeihin, esimerkiksi kouluihin, päiväkoteihin ja toimistorakennuksiin, suunnitellaan ilmanvaihto tarpeenmukaiseksi. Nämä ovat usein monimutkaisia järjestelmiä, joissa ilmavirtojen ohjaukseen vaikuttaa moni asia, ja ne voivat olla hankalia toteuttaa. Siksi on erityisen tärkeää, että ennen rakennuksen käyttöönottoa järjestetään perusteellinen toimintakoe, jolla varmistetaan, että järjestelmä toimii kuten sen

pitää. Rakentamiseen liittyy aina monta eri osapuolta, eikä varmasti ole kenenkään etu, että lopputulos ei ole tarkoituksenmukainen.

Tietojen analysointia hieman hankaloitti tietojen tallennusväli. Ilmavirtojen tiedot tallentuivat 10 minuutin, paine-ero ja CO<sub>2</sub>:n arvot 5 minuutin välein.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyötä oli mielenkiintoista, innostavaa ja erittäin kehittävää tehdä. Vaikka opinnäytetyössä tutkitussa koulussa järjestelmän toiminta ei kaikissa tiloissa vastannut suunnitelmia, tutkimus osoitti, että automaatio kykeni säätämään ilmavirtauksia paine-eron pitämiseksi asetusarvossaan.

Kohteeseen tullaan tekemään piakkoin takuuajan puitteissa korjauksia automaation ohjausparametreihin, jotta paine-erosäätö saadaan toimimaan suunnitelmien mukaisesti ja ilmavirtoja kohtuullistettua käyttöaikojen ulkopuolella.

Toivottavasti tämä opinnäytetyö antaa muille samankaltaista järjestelmää suunnitteleville jonkinlaisia ajatuksia ja vinkkejä siitä, mihin kannattaa suunnittelussa, valvonnassa ja urakoinnissa kiinnittää huomiota, jotta saavutetaan hyviä lopputuloksia.

## Lähteet

- 1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/2017.
- 2 Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö- ja terveystietä.
- 3 Kuurola, Pentti. 2015. Ilmanvaihtolaitteiston aiheuttama paine-ero rakennuksen ulkovaipan yli. Diplomityö. Tampereen Teknillinen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 4 Hagner, Börje. 2019. Kun isoisa Fläktiltä pajatuhottimen osti, LVI-alan historia kooste. E-kirja. Suomen LVI-liitto SuLVI ry.
- 5 Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän tuloilmapuolen suunnittelu. 1987. LVI 30-10085. Rakennustietosäätiö. Peruttu 28.11.2012.
- 6 Björkroth, Marko & Eskola, Lari. 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti. Verkkoaineisto. A-Insinöörit Civil Oy.  
<[https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys)>. Luettu 23.1.2020.
- 7 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/2017.
- 8 Peltonen, Anton. 2018. Ilmanvaihdon merkitys sisäilmaongelmissa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 9 Päckilä, Taneli. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Aalto-doc-tietokanta.
- 10 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 11 Rakennusten energiatehokkuus. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki, ympäristöministeriö.
- 12 Rajapuro, Matias. 2015. Korkean asuinkerrostalon LVI-suunnittelu. Insinööritö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 13 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017. FINVAC ry, Suomen LV-liitto SuLVI ry, VVS Föreningen i Finland ry, Sisäilmayhdistys ry, Lämpöinsinööriyhdistys ry.
- 14 Lindab Liitäntälaatikko MB. 2018. Tekniset tiedot. Oy Lindab Ab.
- 15 SwegonCASA® Blues -liesikupu. 2018. Tekniset tiedot. Oy Swegon Ab
- 16 Stam, Hannu. 2017. Ilmamääräsäätimen toiminta ja elinkaari kiinteistöautomaatiossa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Lindab UltraLink -ilmavirtaussäädin FTCU. 2019. Tekniset tiedot. Oy Lindab Ab.
- 18 Thermokon DPA+. 2019. Tekniset tiedot. Thermokon Sensortechnik GmbH.